

UJI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL JENIS *CROSS FLOW* DENGAN VARIASI JUMLAH *BLADE*

Moch Fachruddin Wahyu Permadi

S1 Teknik Mesin Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : mochpermadi@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Sumber energi minyak bumi masih mendominasi sebagai sumber energi utama. Permintaan energi minyak bumi dari tahun ketahun semakin meningkat hal ini dapat menyebabkan krisis energi. Dengan kondisi seperti ini maka perlu pengembangan sumber energi alternatif ramah lingkungan salah satunya adalah energi angin. Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber energi angin yang sangat besar. Dikarenakan Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki garis pantai yang panjang. Angin yang berhembus di daerah pesisir pantai cukup tinggi, akan tetapi untuk daerah selain pesisir pantai memiliki kecepatan angin yang relatif rendah. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan turbin angin *vertical axis*. Turbin angin *vertical axis* tidak bergantung pada arah angin untuk menghasilkan efisiensi maksimal. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen, pembuatan turbin angin *vertical axis* jenis *cross flow* dengan memvariasikan jumlah *blade*. Variasi jumlah *blade* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 6, 8, dan 12 buah. Pengujian ini dilakukan pada kondisi angin di lapangan yang telah dikondisikan searah. Hasil penelitian didapatkan bahwa turbin angin 12 *blade* menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi dibandingkan dengan variasi jumlah *blade* 6 dan 8 buah. Dengan pembebanan lampu sebesar 5w 12v menghasilkan daya elektrik turbin sebesar 3,87 watt dan efisiensi 3,76% pada kecepatan angin 5,52 m/s.

Kata kunci: Energi angin, *vertical axis*, *cross flow*, jumlah *blade*.

Abstract

Petroleum energy sources still dominate as the main energy source. Petroleum energy demand is increasing year by year this may cause the energy crisis. With these conditions it is necessary to the development of environmentally friendly alternative energy sources one of which is wind energy. Indonesia is a country with a potential source of enormous wind energy. Because Indonesia is an archipelagic country that has a long coastline. The wind that blows in the coastal area is quite high, but for areas other than the coast has a relatively low wind speed. This can be overcome by using a vertical axis wind turbine. The vertical axis wind turbine does not rely on wind direction to generate maximum power. This research is an research experimental, manufacturing vertical axis wind turbine type of cross flow with variation of amount blade. Variations in the number of blades used in this study are 6, 8, and 12 pieces. The test is performed on wind conditions on the ground which has been conditioned in the same direction. The results showed that the 12 blade wind turbines generate power and highest efficiency as compared with the variation of the number of blade 6 and 8 pieces. With a lamp loading of 5w 12v produces 3.87 watts of electric power turbine and 3.76% efficiency at wind speed of 5.52 m/s.

Keywords: wind energy, *vertical axis*, *cross-flow*, amount *blade*.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang melimpah, baik sumber daya alam hayati maupun non hayati. Dibalik melimpahnya sumber daya alam di Indonesia sangat disayangkan belum dimanfaatkan secara maksimal. Setiap tahunnya pertumbuhan penduduk di Indonesia mengalami peningkatan, kemajuan ekonomi, dan peningkatan pembangunan, hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi dari tahun ke tahun. Di Indonesia bahan bakar fosil mendominasi sebagai bahan dasar utama sumber energi listrik. Bahan bakar fosil sendiri

merupakan bahan bakar yang tidak dapat di perbaharui dan terbentuknya membutuhkan kurun waktu sangat lama.

Pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batu bara 147 tahun. Sementara tingginya kebutuhan migas tidak di imbangi oleh kapasitas produksinya menyebabkan kelangkaan sehingga di hampir semua negara berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber – sumber energi baru dan terbarukan. (DESDM, 2005).

Kekayaan energi alam di Indonesia seperti air, angin dan matahari dapat di gunakan sebagai bahan dasar energi listrik, hal ini guna menekan penggunaan bahan bakar fosil. Sehingga dapat menanggulangi kelangkaan energi khususnya di Indonesia dan di dunia pada umumnya.

Soeripno Martosaputro, Nila Murti (2014) dalam kajiannya tentang “*Blowing the wind energy in Indonesia*”. Indonesia memiliki potensi sumber energy angin sekitar 9,29 GW, namun total kapasitas yang terpasang untuk pembangkit listrik tenaga angin masih 1,6 MW saja. Sekitar 166 lokasi di Indonesia telah di ukur untuk potensi energi angin. Hasilnya menunjukkan bahwa 35 lokasi memiliki potensi energi angin yang baik, dengan rata-rata kecepatan angin tahunan diatas 6 m/s. Selain itu sekitar 34 lokasi memiliki potensi energi angin yang cukup untuk di kembangkan dengan rata-rata kecepatan angin tahunan berkisar 4 – 5 m/s.

Elfridus Bruno Lake, dkk (2015) dalam penelitiannya tentang “Pengaruh Kecepatan Angin dan Sudut Blade Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Duabelas *Blade*”. Hasil penelitian pengaruh kecepatan angin dan pembebanan terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertikal tipe Savonius 12 *blade* untuk sudut -5° , 0° , 5° , dan 10° menunjukan bahwa unjuk kerja, keefisien daya terbaik terjadi pada sudut *blade* 5 derajat, dengan kecepatan angin 3,4 m/s.

Yusuf Dewantoro Herlambang (2016) dalam penelitiannya tentang “Model Turbin Angin Vertikal Tipe Aliran *Crossflow* Berbasis Konstruksi Sudu Setengah Silinder Dilengkapi Sudu Pengarah sebagai Pembangkit Listrik”. Berdasarkan hasil pengujian turbin angin VAWT, didapatkan efisiensi sistem tertinggi sebesar 22,3 % pada kecepatan angin 6,12 m/s pada putaran poros generator 244 rpm, tegangan keluaran 20 V, arus keluaran 0,29 A, energi kinetic 26 W, daya generator 5,8 W. Efisiensi sistem terendah adalah 1,4 % didapat pada kecepatan 12,6 m/s, dan putaran generator 463 rpm. Pada tegangan 42, arus keluaran 0,08 A, daya kinetic 227,02 W dan daya generator 3,36 W.

Yusuf Dewantoro Herlambang, dkk (2016) dalam penelitiannya tentang “Optimalisasi Daya Turbin Maglev Melalui Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Bukaan Sudut Sudu Serta Variasi Rumah Pengarah Sudu Untuk PLTB”. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan, penambahan rumah pengarah sudu/rotor dapat meningkatkan daya mekanik turbin pada jumlah sudu 7 dengan sudut bukaan (θ) 5° dari 13,05 % menjadi 21,41 % (menggunakan profil rumah pengarah sudu *concentrator* tanpa *diffuser*). Dengan nilai *Coefficient of power* (C_p) sebesar 0,2141 pada putaran turbin 152 rpm, daya mekanik 5,6162 W, *Tip Speed Ratio* (λ) sebesar 1,1267 pada putaran turbin 215,3 rpm dengan kecepatan angin 5 m/s dan *Coefficient of torque* (C_q) sebesar 0,5832 pada putaran poros turbin 41,4 rpm.

Indra Herlamba Siregar, Aris Ansori dalam penelitiannya tentang “Performance Of Combined Vertical Axis Wind Turbine Blade Between Airfoil NACA 0018 With Curve Blade With And Without Guide Vane”. Berdasarkan hasil penelitian didapat kesimpulan Penambahan guide vane pada model turbin angin mampu

meningkatkan kinerja model turbin angin secara signifikan. Peningkatan kinerja dibandingkan dengan menggunakan model turbin angin baling-baling panduan tanpa guide vane pada kondisi maksimum tercapai 150%, selain itu penambahan guide vane mampu meningkatkan model turbin angin self-starting.

Berdasarkan hasil dari penelitian-penelitian diatas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi turbin angin sumbu vertikal jenis *cross flow*. Dalam penelitian ini akan memvariasikan jumlah sudu turbin tipe U / setengah silinder pada turbin angin sumbu vertikal jenis *cross flow* pada kondisi angin *real*.

Diharapkan dalam penelitian ini dapat menghasilkan bentuk turbin angin vertikal jenis *cross flow* pada kondisi angin nyata baik dari segi mekanis maupun efisiensi yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik di daerah yang memiliki potensi energi angin. Sehingga dapat terdistribusikanya energi listrik di daerah – daerah pelosok.

Rumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang dapat di ambil dalam penelitian ini adalah:

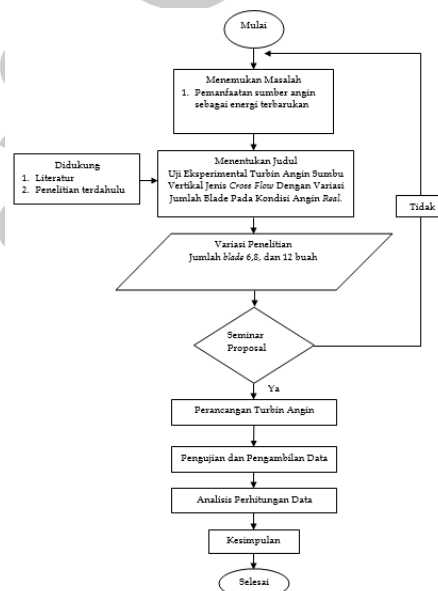
“Bagaimana karakteristik pengaruh jumlah blade pada turbin angin vertikal jenis *cross flow* terhadap kinerja turbin”.

Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

- Mengetahui pengaruh jumlah blade pada turbin angin sumbu vertikal jenis *cross flow* terhadap efisiensi overall turbin.
- Mendapatkan jumlah blade pada turbin angin sumbu vertikal jenis *cross flow* yang optimal sehingga luaran berupa efisiensi yang dihasilkan lebih efektif dan efisien.

METODE



Gambar 1, Flow chart penelitian

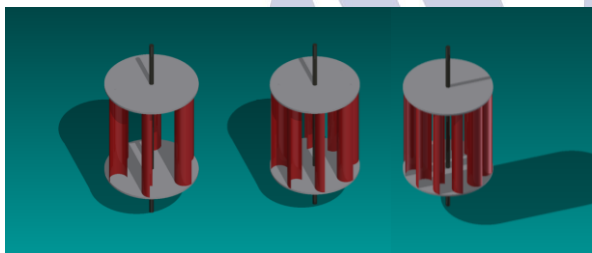
Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metodologi eksperimental dengan melakukan kajian pengaruh jumlah *blade* turbin angin *crossflow* terhadap daya elektrik generator dan efisiensi *overall* yang dihasilkan seperti dilakukan oleh (hidayatullah dan Setiawan, 2017). Diawali dengan studi literatur tentang desain turbin angin jenis *crossflow*.

Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi perancangan turbin angin vertikal jenis *cross flow* dengan variasi jumlah *blade*, pembuatan turbin angin vertikal, *set up* alat, dan pengambilan data.

Data yang diperoleh dari eksperimen dimasukkan ke dalam tabel, dan ditampilkan dalam bentuk grafik yang kemudian akan dianalisis dan ditarik kesimpulan.

Variabel Penelitian

- Variabel bebas (*independent variable*) adalah variabel yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor – faktor yang diobservasi. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi jumlah *blades* yaitu 6, 8, dan 12 buah.



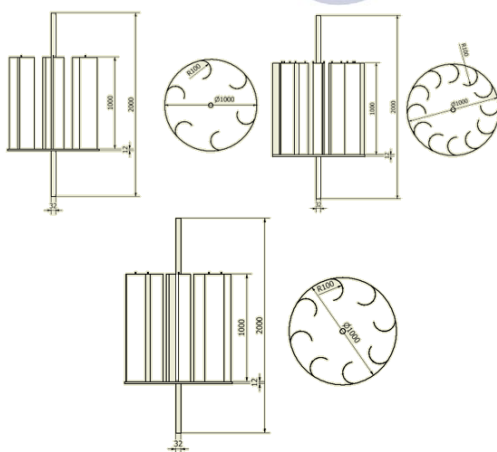
Gambar 2. Desain Turbin Angin 6, 8 dan 12 *Blade*

Dimensi Model:

Diameter turbin : 100 cm

Tinggi : 100 cm

Diameter *blade* : 20 cm



Gambar 3. Dimensi Turbin Angin 6,8, dan 12 *Blade*

- Variabel terikat (*dependent variable*) adalah faktor – faktor yang di observasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah:
 - Daya elektrik generator

- Efisiensi *overall* yang dihasilkan pada masing – masing variasi jumlah *blade*.

- Variabel kontrol merupakan variabel yang dapat dikendalikan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak di pengaruhi oleh faktor – faktor lain yang tidak termasuk dalam penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- Waktu pengambilan data pukul 11.00 – 16.00 WIB.
- Pengambilan data kecepatan angin awal sebagai acuan sehingga pengambilan data selanjutnya yaitu kecepatan angin yang mendekati acuan data awal dengan toleransi kecepatan angin maksimal 0,5 m/s.

Prosedur Penelitian

- Tahap Persiapan
 - Menyiapkan proposal penelitian, menentukan rumusan masalah, membuat rancangan penelitian, serta menentukan waktu dan tempat penelitian.
 - Berkonsultasi dengan dosen pembimbing mengenai proposal penelitian dan rumusan masalah yang telah dipilih oleh peneliti.
 - Mendesain model turbin angin sumbu vertikal dengan membuat variasi jumlah *blade* yang berbeda 6, 8 dan 12 buah.
 - Survei dan belanja perlengkapan dan alat – alat yang akan digunakan.
 - Menyiapkan instrumen penelitian dan alat ukur.
 - Melakukan koordinasi dengan dosen pembimbing jurusan mengenai waktu pelaksanaan penelitian.
- Tahap *Assembly*
 - Perakitan *blade* sesuai dengan jumlahnya.
 - Perakitan turbin angin pada rangka.
 - Memasang *blade* pada turbin angin.
 - Memasang sistem kelistrikan turbin angin.
- Tahap Pelaksanaan Penelitian
 - Menentukan arah angin supaya turbin bisa berjalan maksimal.
 - Pastikan rangkaian turbin angin sumbu vertikal berjalan lancar.
 - Kemudian menentukan jumlah *blade* yang akan di teliti yaitu 6, 8, dan 12 buah.
 - Pengambilan data dilakukan setiap 20 menit sekali.
 - Pengambilan data mulai pukul 11.00 – 16.00 WIB.
 - Ukur kecepatan angin menggunakan anemometer.
 - Ukur putaran turbin menggunakan tachometer.
 - Ukur arus dan voltase menggunakan amperemeter dan voltmeter.

Teknik Pengumpulan Data

Pengambilan data merupakan suatu proses yang penting dalam mencapai tujuan penelitian dimana parameter – parameter yang diukur adalah daya yang dihasilkan dan

bagaimana efisiensinya. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan teknik eksperimen, yaitu mengukur dan menguji obyek yang diteliti dan mencatat data – data yang di perlukan peneliti. Data data tersebut adalah daya yang dihasilkan turbin, efisiensi dari turbin angin vertikal.

Tabel 1.Format pengumpulan data

Jumlah Blade Turbin				
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (A)

Teknik Analisa Data

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif. Tujuan penggunaan metode deskriptif yaitu mendeskripsikan hasil-hasil yang diperoleh setelah dilakukan penelitian. Data yang diperoleh dari turbin angin vertikal bisa dikatakan efektif jika:

Data yang diperoleh dari eksperimen dimasukan ke dalam tabel, dan ditampilkan dalam bentuk grafik yang kemudian akan dianalisis dan ditarik kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian data “Uji Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis Cross Flow Dengan Variasi Jumlah Blade” dengan variasi jumlah *blade* 6, 8, 12 yang di peroleh dari pengujian di gedung A8 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya mendapatkan hasil yang di sajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Hasil Penelitian

TURBIN ANGIN 6 BLADE					
27 November 2017 Jam 11.00 – 16.00 WIB	No	Kecepatan Angin	RPM	TEGANGAN	ARUS
	1	3.18	21.8	7.51	0.01
	2	3.39	23.9	8.01	0.01
	3	3.95	28.6	8.67	0.04
	4	4.62	34.3	9.32	0.07
	5	3.67	26.1	8.42	0.03
	6	3.82	28.1	8.62	0.03
	7	5.15	38.7	9.79	0.10
	8	4.65	34.6	9.37	0.07
	9	3.75	26.9	8.52	0.03
	10	4.97	37.3	9.66	0.09
	11	4.78	35.7	9.41	0.08
	12	4.50	33.1	9.19	0.06
	13	5.49	42.3	10.19	0.12
	14	5.05	37.6	9.67	0.09
	15	4.59	34.2	9.35	0.07
	16	4.23	30.7	8.90	0.05

TURBIN ANGIN 8 BLADE					
4 Desember 2017 Jam 11.00 – 16.00 WIB	No	Kecepatan Angin	RPM	TEGANGAN	ARUS
	1	3.35	28.9	8.68	0.04
	2	3.55	30.7	8.90	0.05
	3	4.03	35.6	9.48	0.08
	4	4.60	41.2	10.06	0.12
	5	3.58	31.1	9.00	0.05
	6	3.74	33.1	9.13	0.06
	7	4.63	41.7	10.12	0.12
	8	4.55	41.1	9.94	0.11
	9	3.61	31.5	9.08	0.05
	10	4.90	44.8	10.44	0.14
	11	4.42	39.5	9.82	0.10
	12	4.61	41.0	10.06	0.12
	13	5.67	53.5	11.52	0.22
	14	4.86	43.9	10.36	0.14
	15	4.36	38.2	9.75	0.09
	16	3.90	34.4	9.24	0.07

TURBIN ANGIN 12 BLADE					
11 Desember 2017 Jam 11.00 – 16.00 WIB	No	Kecepatan Angin	RPM	TEGANGAN	ARUS
	1	3.37	35.1	9.38	0.07
	2	3.54	37.0	9.58	0.09
	3	3.83	41.1	10.08	0.11
	4	4.43	47.6	10.74	0.16
	5	3.41	36.1	9.55	0.08
	6	3.78	40.1	9.88	0.11
	7	5.32	60.1	12.20	0.28
	8	4.95	53.9	11.53	0.22
	9	3.81	40.9	9.93	0.11
	10	5.11	56.6	11.78	0.24
	11	4.51	48.7	10.91	0.17
	12	4.38	47.1	10.69	0.16
	13	5.11	56.6	11.81	0.24
	14	4.80	52.5	11.48	0.20
	15	4.29	46.3	10.60	0.15
	16	3.97	42.3	10.20	0.12

Analisa Perhitungan

- Daya Angin

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 1 \times 3,18^3$$

$$P_w = 19,70 \text{ watt}$$

- Tip Speed Ratio

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

$$\lambda = \frac{3,14 \times 1 \times 21,8}{60 \times 3,18}$$

$$\lambda = 0,36$$

- Daya Elektrik Generator

$$P_g = V \times I$$

$$P_g = 7,51 \text{ volt} \times 0,01 \text{ ampere}$$

$$P_g = 0,08 \text{ watt}$$

- Efisiensi *Overall*

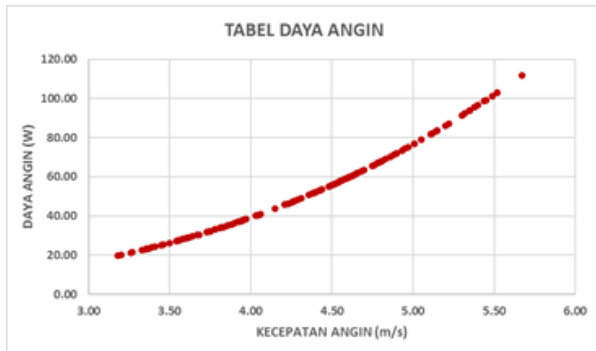
$$\eta = \frac{P_t}{P_w} \times \frac{P_g}{P_t} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{P_g}{P_w} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{0,08}{19,70} \times 100 \%$$

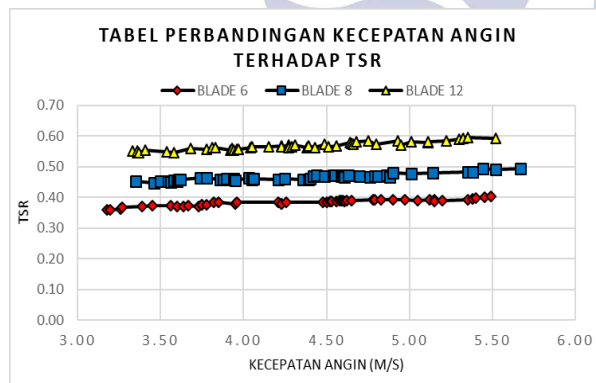
$$\eta = 0,38 \%$$

Pembahasan



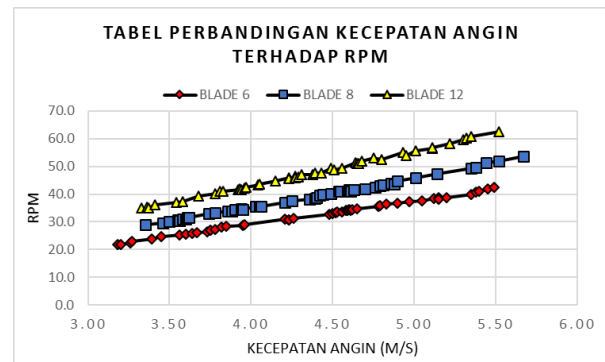
Gambar 4. Grafik daya angin

Berdasarkan gambar 4.1 kecepatan angin sebanding dengan daya yang dihasilkan angin. Jika kecepatan angin semakin besar maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Daya angin tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 103,02 watt pada kecepatan angin 5,52 m/s.



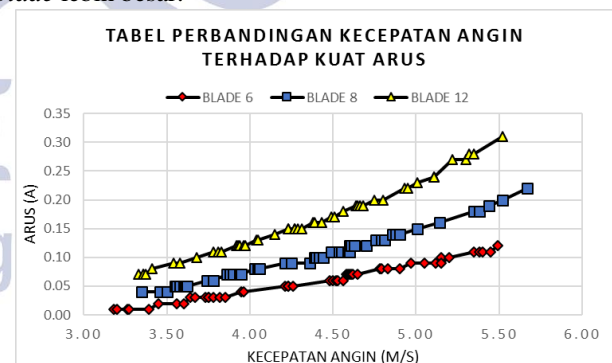
Gambar 5. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap TSR

Berdasarkan gambar 4.1 diatas, perbandingan antara kecepatan angin dengan TSR nilai yang dicapai oleh turbin angin vertikal jenis *crossflow* pada kondisi angin di lapangan dengan variasi jumlah *blade* 6 sebesar 0,40 pada kecepatan angin 5,49 m/s. Pada variasi jumlah *blade* 8 mengalami kenaikan sebesar 0,49 pada kecepatan angin 5,67m/s. Pada variasi jumlah *blade* 12 juga mengalami kenaikan sebesar 0,59 pada kecepatan angin 5,52 m/s. Turbin angin pada variasi jumlah *blade* 12 memiliki nilai TSR tertinggi dikarenakan gaya *drag* yang diterima turbin lebih tinggi dibandingkan dengan variasi jumlah *blade* lainnya.



Gambar 6. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap putaran turbin (RPM)

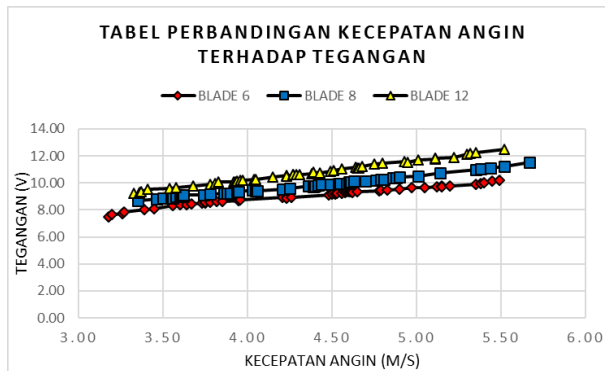
Berdasarkan gambar 4.3 perbandingan antara kecepatan angin dengan putaran turbin (rpm), bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan putaran turbin (rpm). Beberapa jumlah *blade* menunjukkan hasil dari kemampuan terendah variasi jumlah *blade* 6 pada kecepatan angin 3,18 m/s menghasilkan putaran sebesar 21,8 rpm. Variasi jumlah *blade* 8 pada kecepatan angin 3,35 m/s menghasilkan putaran 28,9 rpm. Variasi jumlah *blade* 12 pada kecepatan 3,33 m/s menghasilkan putaran 35,1 rpm. Putaran tertinggi turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 6 pada kecepatan 5,49 m/s menghasilkan putaran 42,3 rpm. Variasi jumlah *blade* 8 pada kecepatan 5,67 m/s menghasilkan putaran 53,5 rpm. Variasi jumlah *blade* 12 pada kecepatan 5,52 m/s menghasilkan putaran 62,4. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 12 memiliki kemampuan yang lebih baik dan menghasilkan putaran tertinggi di setiap rata-rata kecepatan angin dibandingkan dengan variasi lainnya. ini dikarenakan profil jumlah *blade* pada turbin lebih banyak sehingga efek sapuan angin terhadap *blade* lebih besar.



Gambar 7. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap kuat arus generator

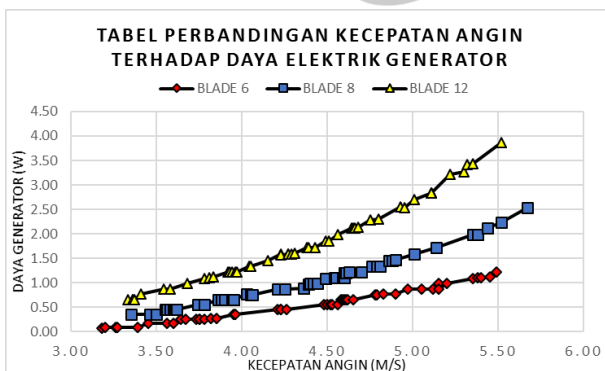
Berdasarkan gambar 4.4 besarnya kecepatan angin mempengaruhi putaran generator untuk menghasilkan arus listrik. Hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan kuat arus listrik yang dihasilkan generator. Dalam pengukuran arus listrik membutuhkan suatu beban, dalam penelitian ini digunakan lampu dengan beban 5w 12v. Jika nilai resistensi semakin besar maka kuat arus yang dihasilkan kecil begitu pula sebaliknya. Kuat arus yang dihasil oleh

turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 6 sebesar 0,12A pada kecepatan angin 5,49 m/s. Variasi jumlah *blade* 8 sebesar 0,22A pada kecepatan angin 5,67 m/s. Variasi jumlah *blade* 12 sebesar 0,31A pada kecepatan angin 5,52 m/s. Kuat arus tertinggi di peroleh pada variasi jumlah *blade* 12 sebesar 0,31A pada kecepatan angin 5,52 m/s. Dikarenakan putaran turbin angin terhadap generator semakin tinggi sehingga mempengaruhi nilai kuat arus yang dihasilkan generator.



Gambar 9. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap tegangan generator

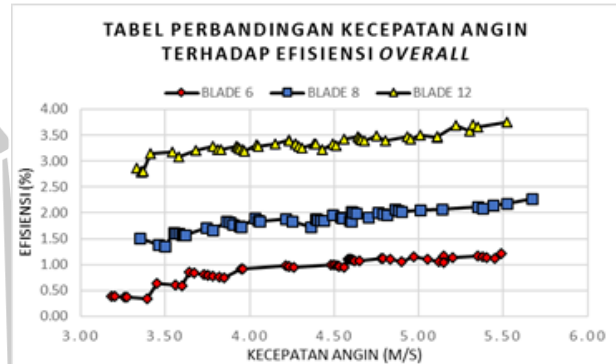
Berdasarkan gambar 4.5 besarnya kecepatan angin mempengaruhi putaran turbin angin terhadap putaran generator untuk menghasilkan tegangan listrik. Hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan tegangan listrik generator. Tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 6 sebesar 10,19V pada kecepatan angin 5,49 m/s. Variasi jumlah *blade* 8 sebesar 11,52V pada kecepatan angin 5,67 m/s. Variasi jumlah *blade* 12 sebesar 12,48 pada kecepatan angin 5,52 m/s. Tegangan generator tertinggi pada variasi jumlah *blade* 12 sebesar 12,48 dengan kecepatan angin 5,52 m/s. Dikarenakan putaran turbin angin terhadap generator semakin tinggi sehingga mempengaruhi nilai tegangan listrik yang di hasilkan generator.



Gambar 10. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap daya elektrik generator

Berdasarkan gambar 4.6 besarnya daya yang dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan kecepatan angin. Daya generator dapat diperoleh dengan perkalian antara tegangan dengan kuat arus generator. Apabila kecepatan angin semakin tinggi maka daya yang dihasilkan oleh generator semakin besar. Daya generator yang di hasilkan pada turbin angin dengan variasi jumlah

blade 6 sebesar 1,22W pada kecepatan angin 5,49 m/s. Turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 8 sebesar 2,53W pada kecepatan angin 5,67 m/s. Turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 12 sebesar 3,87W pada kecepatan angin 5,52 m/s. Daya turbin angin tertinggi diperoleh pada variasi jumlah *blade* 12 sebesar 3,87W pada kecepatan angin 5,52 m/s. Dikarenakan putaran turbin terhadap generator semakin tinggi sehingga mempengaruhi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan generator.



Gambar 10. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi

Berdasarkan gambar 4.7 besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan kecepatan angin. Pada turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 6 sebesar 1,21% pada kecepatan angin 5,49 m/s. Turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 8 sebesar 2,27 pada kecepatan angin 5,67 m/s. Turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 12 sebesar 3,76 pada kecepatan angin 5,52 m/s. Efisiensi yang dihasilkan turbin angin di pengaruhi oleh perbandingan daya generator dengan daya turbin angin. Efisiensi tertinggi turbin angin pada variasi jumlah *blade* 12 sebesar 3,76 pada kecepatan angin 5,52 m/s. Dikarenakan gaya *drag* yang ditimbulkan pada permukaan *blade* lebih besar sehingga mempengaruhi putaran poros turbin menjadi lebih besar.

PENUTUP Simpulan

Setelah dilakukan penelitian dan dilanjutkan dengan pengolahan data pada bab sebelumnya tentang pengaruh variasi jumlah *blade* turbin angin vertikal jenis *cross flow* pada kondisi angin di lapangan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kecepatan angin berbanding lurus dengan kecepatan putaran poros turbin angin. Perubahan jumlah *blade* berpengaruh terhadap kinerja putaran poros turbin. Dikarenakan sapuan gaya *drag* yang di terima pada *blade*. Semakin besar sapuan yang di terima *blade* semakin besar putaran turbin yang dihasilkan.
- Unjuk kerja, Daya elektrik generator (P_g) tertinggi pada variasi jumlah *blade* 12 sebesar 3,87W pada kecepatan angin 5,52 m/s dengan pembebanan lampu 5w12v. Sedangkan *tip speed ratio* (λ) tertinggi pada variasi jumlah *blade* 12 sebesar 0,59 pada kecepatan angin 5,52 m/s

- Efisiensi *overall* (η) turbin angin sumbu vertikal jenis *cross flow* pada kondisi angin di lapangan, hasil tertinggi diperoleh pada turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 12 sebesar 3,76% pada kecepatan angina 5,52 m/s.

Saran

- Untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan variasi jumlah *blade* lebih banyak dan penempatan lokasi yang mempunyai angin yang lebih stabil dan menggunakan material yang lebih ringan dan kuat dalam perancangan turbin angin.
- Penelitian selanjutnya diharapkan mampu mengembangkan generator turbin angin pada putaran rendah yang menghasilkan daya tinggi
- Pengembangan sistem pemindahan tenaga yang diteruskan ke dalam generator turbin angin agar meminimalisir gesekan sehingga mampu meningkatkan kinerja turbin angin.

DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto, Y. 2007. "Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu". Yogyakarta: BALAI PPTAGG – UPT-LAGG.
- DESDM. 2005. "Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005 – 2025". Jakarta
- Gulve, Piyush., S.B Brave. 2014. "Design And Construction of Vertical Axis Wind Turbine". International Journal of Mechanical Engineering and Technology Vol. 5.
- Herlambang, Yusuf Dewantoro. 2016. "Model Turbin Angin Vertikal Tipe Aliran Crossflow Berbasis Konstruksi Sudu Setengah Silinder Dilengkapi Sudu Pengarah sebagai Pembangkit Listrik". Semarang: Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.
- Herlambang, Yusuf Dewantoro., Hidayat Sudjito, Syamsul Sidiq. 2016. "Optimalisasi Daya Turbin Maglev Melalui Variasi Jumlah Sudu Dan Variasi Buka Sudut Sudu Serta Variasi Rumah Pengarah Sudu Untuk Pltb". Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- Hau, Erich. 2005. "Wind Turbines Fundamentals Technologies Application Economics" Springer Berlin Heidelberg, New York.
- Hidayatulloh, F. and Siregar, I.H., 2017. "Pengaruh Perubahan Sudut Lengkung Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe S Dua Tingkat Pada Kondisi Angin Real"2. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(02).
- Martin, George H. 1985. "Kinematika Dan Dinamika Teknik" ERLANGGA
- Martosaputroa, Soeripno., Nila Murti. 2014. "Blowing the Wind Energy in Indonesia". Soeripno Martosaputro and Nila Murti / Energy Procedia 47 (2014) 273 – 282.
- Michael Suseno. 2011. Turbin Angin : Klasifikasi Turbin Angin. (Online)
- Nahkoda, Yusuf Ismail., Chorul Saleh. 2015. "Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen". *Industri Inovatif* Vol.5, No.2.
- Pudjanarsa, Astu., Djati Nursuhud. 2008. "Mesin Konversi Energi". *Mesin Konversi Energi Non-Konvensional* (2008) 289
- Polagye, Brian., dkk. 2013. "Cross - Flow Turbine Performance And Wake Characterization" . *Proceedings of the 1st Marine Energy Technology Symposium*. Washington, D.C.
- Riduan, Mujib. 2016. "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Reaksi Crossflow Poros Vertikal dengan Sudu Setengah Silinder". Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Setiawan, I.B. and Siregar, I.H., 2016. Pengaruh Perubahan Sudut Pitch Pada Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Darrieus Tipe-H Dua Tingkat Dengan Pengarah Angin Pada Kondisi Angin Real. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(03).
- Siregar, I.H. dan Aris Ansori. 2016. "Performance Of Combined Vertical Axis Wind Turbine Blade Between Airfoil NACA 0018 With Curve Blade With And Without Guide Vane". Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Surabaya
- Syahrul, 2008. "Prospek Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Di Daerah Pedesaan". *Media elektrik*, volume 3 nomor 2.
- Tim Penyusun. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi Program Sarjana Strata 1 Universitas Negeri Surabaya*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Tirono, Mokhammad. 2012. "Pemodelan Turbin Cross-Flow Untuk Diaplikasikan Pada Sumber Air Dengan Tinggi Jatuh Dan Debit Kecil". *Jurnal Neutrino* Vol.4, No. 2.